

**REMOCIÓN CARGA CONTAMINANTE CON HUMEDALES ARTIFICIALES DE TIPO
PILOTO SUB-SUPERFICIAL HORIZONTAL (HAFSSh), GRANJA BOTANA, NARIÑO**

HERLANDI ANDRÉS PANTOJA ESTRADA

GINNA TARAPUES PAZOS

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

SAN JUAN DE PASTO

2017

**REMOCIÓN CARGA CONTAMINANTE CON HUMEDALES ARTIFICIALES DE TIPO
PILOTO SUB-SUPERFICIAL HORIZONTAL (HAFSSh), GRANJA BOTANA, NARIÑO**

HERLANDI ANDRÉS PANTOJA ESTRADA

GINNA TARAPUES PAZOS

ASESOR:

JAMES ROSERO CARVAJAL

MSc

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

SAN JUAN DE PASTO

2017

“Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva del autor”

Artículo 1ro del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

NOTA DE ACEPTACIÓN

PRESIDENTE JURADO

PRESIDENTE JURADO

ASESOR

San Juan de Pasto, noviembre de 2017

Al Único y Sabio Dios, que me fortaleció para sacar adelante este proyecto y me ha mostrado siempre su grande amor y fidelidad, así mismo a las personas que Dios ha colocado como guías en mi vida, a mis padres Hernando Tarapues y Mercedes Pazos, a mis autoridades y maestros gracias por su apoyo e instrucción.

A mi madre Blanca Estrada quien siempre estuvo ahí para mí, a los docentes del programa de Ingeniería ambiental y sobre todo al Señor quien ha sido mi guía y me permito culminar esta fase que es un inicio mas.

Pon en manos del SEÑOR todas tus obras, y tus proyectos se cumplirán. (Proverbios 16:3)

REMOCIÓN CARGA CONTAMINANTE CON HUMEDALES ARTIFICIALES DE TIPO PILOTO SUB-SUPERFICIAL HORIZONTAL (HAFSSh), GRANJA BOTANA, NARIÑO

REMOVAL POLLUTANT LOAD WITH SUB-SURFACE HORIZONTAL PILOT TYPE CONSTRUCTED WETLANDS (HSFCWs), BOTANA FARM, NARIÑO

Andrés Pantoja E.¹ y Ginna Tarapues P.¹ James Rosero C.²

RESUMEN

Las aguas residuales provenientes de la crianza de porcinos, poseen altas cargas contaminantes, los sistemas no convencionales como los humedales artificiales, intentan dar solución a esta problemática en escenarios donde soluciones convencionales no son factibles, en esta investigación se buscó determinar la remoción de carga contaminante brindada por humedales artificiales de tipo piloto sub-superficial horizontal (HAFSSh), en aguas provenientes de la PTAR de la Granja Experimental Botana, de la Universidad de Nariño, para ello se diseñó e implementó un sistema compuesto por cuatro (HAFSSh) con variación de especies vegetales : *Schoenoplectus californicus* C.A. Mey., *Canna Sp*, y *Zantedeschia aethiopica* L., para su dimensionamiento se consideraron las fórmulas y criterios de diseño de Kadlec, RAS 2000 y Reed, se realizó el seguimiento semanal a las estaciones durante los dos meses posteriores al arranque, encontrando que la Totorá muestra hasta 12% más de remoción en SST y DBO₅, y un 22% más de remoción en DQO respecto a la estación sin plantar.

Palabras claves: *Canna Sp*; DBO₅, DQO, *Schoenoplectus californicus* C.A. Mey., SST, Tratamiento de aguas residuales, *Zantedeschia aethiopica* L.

ABSTRACT

The wastewater from the porcine breeding, have high pollutant loads, that's because of the high levels of organic material non-conventional, unconventional systems such as constructed wetlands try to solve this problem in scenarios where conventional solutions are not factible, this research tried to determine

¹ Estudiantes del Programa Ingeniería Ambiental. Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia. Correo de contacto: andespa001@gmail.com

² Asesor proyecto de grado, M. Sc. Gestión ambiental local, Docente Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia.

the removal of pollutant load by Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetlands (HSFCWs), in waters from the STAR of the Experimental Botana Farm, of the University of Nariño, for this was designed and implemented a system composed of four HSFCWs in which the plant material were varied with the species: *Schoenoplectus californicus* C.A. Mey., *Canna sp*, and *Zantedeschia Aethiopica* L; the formulas and design criteria of Kadlec, RAS 2000 and Reed were considered for sizing, weekly monitoring was performed at stations during two months after the run, finding that Totorá shows up to 12% more removal in SST and BOD₅, and 22% more removal in COD than in the unplanted.

Keywords: *Canna Sp*, BOD₅, QOD, *Schoenoplectus californicus* C.A. Mey., *Zantedeschia aethiopica* L., TSS , Wastewater treatment.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
Fase 1: Aforo y caracterización del vertimiento.....	13
Fase 2: Dimensionamiento.....	14
Fase 3: Diseño de las estaciones.....	15
Fase 4: Montaje de las estaciones.....	16
Fase 5: Determinación eficiencia estaciones.....	17
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
Fase 1: Aforo y caracterización del vertimiento.....	18
Fase 2: Dimensionamiento de estaciones.....	19
Fase 3 y 4: Diseño y montaje de las estaciones.....	20
Fase 5: Determinación de la eficiencia de las estaciones	20
4. CONCLUSIONES.....	25
5. RECOMENDACIONES.....	26
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27

INTRODUCCIÓN

Según Secretaría de la Convención de Ramsar (2013), un humedal es una zona de la superficie terrestre con características climáticas y bióticas particulares, que está temporal o permanentemente inundada. Los humedales artificiales, básicamente son zonas construidas en las que se reproducen de manera controlada, los procesos físicos, químicos y biológicos de eliminación de contaminantes que ocurren normalmente en los humedales naturales (Langergraber, 2005).

Como describe Lara (1999), consisten en un área inundable, generalmente una excavación impermeabilizada, con dimensiones controladas, la cual se llena con el agua a tratar, o bien se deja que esta circule a través del sistema; sobre dicha área, se distribuye un medio de soporte o sustrato, que consiste en un material de porosidad conocida sobre el cual se siembran plantas.

Según Pidre *et al.* (2007) se consideran sistemas de bio-remediación no convencional para el tratamiento de aguas residuales (AR) ya que como señala Estrada (2010), el tratamiento se da en gran medida gracias a la remoción de carga contaminante realizada por microorganismos facultativos, aerobios y anaerobios, fijados al medio junto con el material vegetal; este último, según Lara (1999) además de brindar soporte físico al sistema, también actúan como asimiladoras de los contaminantes del agua; así mismo, han demostrado formar asociaciones dendríticas con los microorganismos acuáticos del medio de fijación; en conjunto plantas y microorganismos al momento de alimentarse de la materia orgánica presente en el agua residual, la absorben y degradan, descontaminando así las aguas.

De ahí que determinar la especie vegetal y el medio de soporte adecuados es importante, ya que Scholz (2016) recomienda que las plantas se deben escoger de acuerdo a la disponibilidad regional, y la adaptabilidad a las condiciones climáticas y de saturación a las que se verán sometidas. Y las variaciones de porosidad entre los diversos materiales que se pueden utilizar como medio (Gravas, arenas, plásticos, maderas y otros.) Lara (1999), determinarán la facilidad con la cual los microorganismos serán adheridos al soporte físico, y formarán colonias sobre dichos materiales; a estas formaciones se les denomina biopelícula o biofilm (Lozano, 2015).

Cárdenas y Gonzáles (2016), encontraron que la remoción obtenida con Achira, y Cartucho. en aguas industriales, era significativamente mayor en la DBO₅, siendo esta de 67,2% en ambas especies; sin embargo, los humedales plantados con *Z. aethiopica* L. lograron un 43,35% de remoción en DQO frente los plantados con *Canna Sp* cuya remoción fue inferior al 10%; y respecto a los SST, las estaciones con

Canna Sp lograron un 30% mientras aquellos con *Z. aethiopica* L. solo alcanzaron un 5% de remoción, de acuerdo al estudio ambas especies lograron adaptarse a condiciones de saturación propias de los humedales.

Dichas conclusiones son corroboradas por Duchela y Toledo (2014), quienes compararon estaciones con un montaje a nivel de laboratorio y en campo con Achira, mencionan que la planta Achira tiene una capacidad depuradora de 32,4% para DBO₅, en comunidades rurales de Chulcunag con aguas mixtas residuales y provenientes de cría de animales, demostrando su efectividad en temperaturas ambientales inferiores a las 20°C. Por su parte la especie *Z. aethiopica* L. según la investigación de Figueroa (2005), logró comprobar que aquella incrementa la efectividad en la remoción respecto a una estación testigo sin especies vegetales, en 13% para DQO, 13% en DBO₅ y para SST en 9,62%. En la investigación de Rojas *et al.* (2013) encontraron que la especie Totorá en condiciones invernales puede alcanzar una eliminación de DQO superior al 80%, en DBO₅ inferior al 50% y de SST entre 65% y 85%.

Según Díaz (2014) las tecnologías no convencionales como los HAFSSh, se usan como tratamientos complementarios en las aguas residuales; Wong (2004) menciona que estos poseen ventajas sobre sistemas convencionales, principalmente en casos donde resulta difícil construir, operar o mantener adecuadamente tratamientos tradicionales. Gonzáles (2011), afirma que estos últimos son costosos y requieren de altos consumos energéticos e infraestructurales, lo cual hace difícil su implementación a pequeña escala; Duque y Ardila, (2014), resaltan la importancia de llevar estos sistemas a los pequeños sectores productivos generadores de contaminación por vertimientos, ya que sus condiciones socioeconómicas imposibilitan la implementación de soluciones a gran escala.

Pérez (2006), en su investigación sobre la incidencia de las actividades de granjas porcinas en el medio ambiente, realiza una contextualización de la producción de porcinos en granjas de baja y media tecnificación en América, y afirma que uno de los principales problemas ambientales, derivados de esta actividad, es la incorporación de materia orgánica en el agua, debido al contenido húmedo de la orina y las heces del animal. En Colombia, la cría de porcinos es una de las 73 actividades productivas priorizadas para la reglamentación de los parámetros de sus vertimientos puntuales, esto según el Decreto 3930 de MINAMBIENTE (2010); para ello mediante la Resolución 631 (2015), se establecen los siguientes límites en los parámetros generales (Tabla 1).

Tabla 1. Límites permisibles para vertimientos puntuales, sector cría de porcinos.

Parámetro	pH	DQO mg/l	DBO₅ mg/l	SST mg/l	SSed mg/l	Grasas y aceites mg/l
Ganadería de porcinos – cría	6 a 9	900	450	400	5	20

Fuente: MINAMBIENTE (2015).

Los diferentes tipos de humedales artificiales, se agrupan según Hoffman *et al.* (2011), de acuerdo a características hidráulicas y a consideraciones de diseño de los diferentes investigadores; bajo este mismo precepto Stefanakis *et al.* (2014), señala que se puede encontrar dos tipos, que se han denominado de acuerdo a la dirección del flujo de las aguas al pasar por ellos, en los sub-superficiales, el agua no entra en contacto directo con la atmósfera ya que el medio de fijación actúa como cobertura y aislante; en los superficiales el agua está expuesta al aire y el medio está debajo de ella. Díaz (2014), cita que teniendo en cuenta las zonas de entrada y salida del agua para su clasificación, se diferencian entre verticales y horizontales.

La U.S. EPA (2000) destaca algunas ventajas de los humedales de tipo sub-superficial frente a los de tipo superficial, como el aislamiento térmico y la protección frente a vectores que brinda el medio ya que el agua circula por debajo, mayores eficiencias con tiempos de retención mayores. Según Eslamian (2015), los de flujo sub-superficial son los más usados a nivel mundial, situación que se comparte a nivel nacional pues según Díaz (2014) han tenido amplia aplicación en Colombia; por ejemplo, se han realizado estudios acerca de eficiencia de sistemas a escala piloto para tratamiento de aguas residuales en una granja porcícola en la ciudad de Pereira, en este caso el tipo de humedales fue híbrido los cuales han dado resultados importantes con respecto a DBO₅, DQO, SST y N. obteniendo remociones superiores al 60% (Duque y Ardila, 2014).

En la granja Botana de la Universidad de Nariño, como parte de sus actividades en investigación, se produce un promedio anual de 176 cabezas de porcinos en dos periodos, asociado a ese proceso las descargas de aguas residuales se realizan en dos ciclos álgidos entre los meses de febrero a junio y el segundo de agosto a noviembre (Villota, 2015). Dichas descargas llegan a un arroyo superficial el cual es el primer aportante de la Quebrada Miraflores y de acuerdo a la reglamentación de vertimientos presente en el PORH de la Quebrada Miraflores CORPONARIÑO (2012), la Granja Botana UDENAR como usuario debe alcanzar los 296 mg/l para la DBO₅ y 137 mg/l para SST entre 2016 y 2021.

Actualmente el STAR de la granja cuenta con 2 biodigestores, retenedores laterales de sólidos, rejilla de gruesos, un sedimentador y un reactor de flujo ascendente, dichos sistemas de tratamiento permiten que las aguas residuales, pasen de tener alrededor de 1080 mg/l a 548 mg/l en DBO₅, y de 1482 mg/l a un promedio de 108,58 mg/l en SST con picos de hasta 300 mg/l, estos niveles de remoción no siempre están dentro de los límites permisibles cuyo rango máximo son de 450 y 400 mg/l para DBO₅ y SST respectivamente según la Resolución 631 MIAMBIENTE (2015). Esta situación es común en criaderos porcícolas y ganaderos a nivel regional y nacional, como menciona MINAMBIENTE (2006), de ahí que la naturaleza de las aguas residuales requiera de un tratamiento complementario que favorezca la mitigación del impacto que genera dichos vertimientos.

Por lo anteriormente mencionado el objeto de la presente investigación consiste en determinar la eficiencia de remoción de carga contaminante de aguas residuales provenientes de actividades de producción porcícola en la finca Botana de la Universidad de Nariño, con humedales artificiales piloto de tipo sub-superficial horizontal.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se desarrolló en la vereda Botana del corregimiento de Catambuco, ubicada a 9 km al sur de la ciudad de San Juan de Pasto; concretamente en la Granja Botana de la Universidad de Nariño, a los 1°09'29.77"LN y 77°16'39.79" LO. Con una temperatura promedio de 12°C (Pineda, 2013).



Figura 1. Vista satelital granja Botana, 2017 ESRI Corporation Maps Application.

El proyecto se ubicó contiguo a la planta de tratamiento de la granja, la cual consta de un pretratamiento por medio de dos biodigestores, un sistema de filtración de sólidos, una rejilla, sedimentadores y un reactor de flujo ascendente. Las aguas se recogieron de la última cajilla de recolección debido a que se quería evitar problemas de colmatación en el sistema, ya que los humedales se consideran un tratamiento complementario (RAS, 2017). Se desarrollaron las siguientes fases:

Fase 1: Aforo y caracterización del vertimiento. Se obtuvieron los datos de caudales de la salida de la PTAR, durante 4 meses a partir del mes de mayo, desde 8 a.m a 5 p.m, con el fin de determinar las horas pico de caudal y la producción del vertimiento en la granja.

Adicionalmente se realizó un muestreo del agua residual que alimentó a las estaciones, se optó por un muestreo simple ya que los caudales y las condiciones de entrega de muestras no permitieron realizar la composición de las mismas, en vez de ello se tuvo en cuenta las horas con picos de caudal identificados en la primera fase, para que las muestras fueran significativas como señala la Ficha Técnica Código TI0187 (IDEAM, 2007).

Además, se determinó la biodegradabilidad del vertimiento por medio de la relación DBO_5/DQO , según cita Zamora *et al.* (2014) dicha relación indica que tan biodegradable es un flujo; cuando la relación es

inferior a 0.2, el flujo es poco biodegradable; entre 0.2 y 0.4 es biodegradable y con valores superiores a 0.4 indica flujos alta-mente biodegradables.

Fase 2: Dimensionamiento. Para fines de diseño, fue necesario determinar la porosidad del medio filtrante, la cual se calculó por medio de la metodología descrita por Guzmán (2008), quien detalla el proceso para la estimación del porcentaje de huecos de gravas mediante la siguiente fórmula:

$$\%hueco = \frac{\text{Volumen de agua empleada (Vw)}}{\text{Volumen muestra (V)}} \cdot 100$$

Área de humedales a escala piloto. Se consideraron cuatro estaciones de igual dimensión, como lo indica la Figura 2. Para el cálculo del área superficial necesaria por estación, se consideró el área disponible para la investigación y las fórmulas de diseño de la Tabla 2, partiendo de las concentraciones más altas registradas.

Tabla 2. Fórmulas y convenciones para la estimación del Área superficial a partir de la DBO₅ de HAFSSh.

Autor	Ecuación
Kadlec	$As = \frac{Q}{K_A} \ln \left(\frac{C_0 - C^*}{C_e - C^*} \right)$
Reed	$As = \frac{Q \ln \left(\frac{C_0}{C_e} \right)}{K_T * (h) * (n)}$
RAS 2000	$As = \frac{Qd (\ln C_0 - \ln C_e)}{K_T * (D) * (n)}$

Fuente: Espinoza (2014). QD – Q = Caudal de diseño (m³/d); Co=DBO₅ afluente (mg/L); Ce: DBO₅ efluente esperado (mg/L); T°: Temperatura (°C); Kt: Constante cinética de primer orden dependiente de la temperatura, (d-1); H y D: Profundidad promedio del sistema (m); N: Porosidad del medio de soporte principal en fracción decimal; C*: Concentración de fondo; K₂₀: Constante de primer orden a 20°C, (d-1); K_{A20}: Constante de velocidad de reacción a 20°C; As: Área Superficial (m²).

Corrección de la constante cinética. Debido al clima de la zona, se requirió hacer una corrección a las constantes K_t y K_A para cada autor (Tabla 3).

Tabla 3. Corrección de K_t y K_A.

Constante cinética por autor	K_{20} asumido (d^{-1})	Corrección según T°
K_A (Kadlec)	0,32	$= K_{A,20} (\theta)^{(T-20)}$
K_t (Reed)	1,104	$= K_{20} (1,06)^{(T-20)}$
K_t (RAS 2000)	0,175	$= K_{20} (1,047)^{(T-20)}$

(Espinoza, 2014)

Otras dimensiones. Para determinar el ancho y el largo de la celda, se utilizó las fórmulas propuestas por Yocum (2007):

$$W = \left[\frac{A_S}{R_A} \right]^{\frac{1}{2}} \quad l = \frac{A_S}{W}$$

Dónde:

W: Ancho de la celda de humedal, m

A_S : Área superficial del humedal, m^2

R_A : Relación largo/ancho 3/1 (Vinueza, 2014)

l: largo de la celda del humedal, m

La U.S. EPA (2000), recomienda que la pendiente sea del 1%, como factor de seguridad, lo que contribuiría a prevenir posibles atascamientos y zonas muertas en el momento del diseño.

Fase 3: Diseño de las estaciones. La unidad piloto fue conformada por 3 HAFSSh funcionando en paralelo, en las que varió el material vegetal, junto con un testigo (Figuroa, 2005).

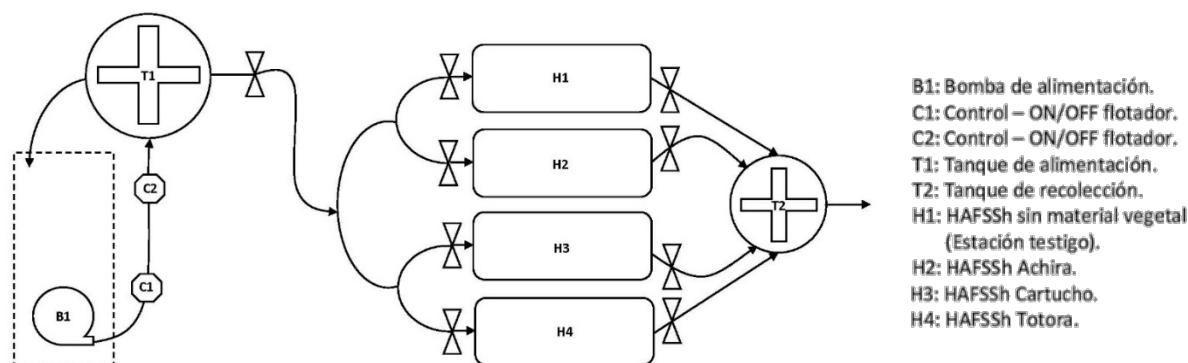


Figura 2. Distribución de los sistemas de tratamiento a escala piloto.

Material vegetal. Para esta investigación se escogió como material vegetal a las especies *Canna* Sp, *Schoenoplectus californicus* C.A. Mey. y *Zantedeschia aethiopica* L. comúnmente conocidas como Achira, Totorá y Cartucho respectivamente, estas se seleccionaron, debido a su adaptabilidad, ya que son especies que se pueden encontrar en la región (Díaz *et al.*, 2000; MINAMBIENTE, 2009; Lazzereschi *et al.*, 2011; Potosí y Yepez, 2015).

Para establecer la cantidad de plantas por estación se tomó la recomendación de Toalongo y Rafael (2012) quienes mencionan que se debe sembrar por lo menos 5 plantas/m², a fin de que se garantice una buena cobertura.

Fase 4: Montaje de las estaciones.

Montaje hidráulico. La distribución del agua residual se realizó como se observa en la Figura 2, desde el último canal de recolección de la PTAR hacia un tanque elevado a 2,5 m, por medio de una bomba de 1 hp, la conducción se realizó por medio de manguera de 1" con válvulas a la entrada y salida de cada estación garantizando que no hubiera aireación en las uniones de la tubería por presiones negativas.

La U.S. EPA (2000), recomienda que las estructuras de entrada y descarga aseguren la distribución adecuada y la recolección uniforme del agua residual aplicada. La entrada consistió en una tubería o flauta perforada de 1" y el tubo de salida de 1" se localizó a la misma altura que la entrada - apenas debajo del nivel del agua (Yocum, 2007). El diseño hidráulico de un humedal es crítico para obtener buenos rendimientos en la eficiencia de depuración. En los modelos de diseño se asume un flujo en condiciones uniformes y de tipo pistón (Delgadillo *et al.*, 2010)

Medio de soporte y material vegetal. Las cuatro estaciones se llenaron con una mezcla de materiales en tres fases, como lo señala Yocum (2007). El tamaño de la grava en los primeros 50 cm de entrada y los últimos 50 cm, fue de dos pulgadas de diámetro para evitar colmataciones y facilitar el flujo (Figura 5), sin embargo, dicha variación en materiales no se tuvo en cuenta para el dimensionamiento, y se asumió como medio diseño al triturado ya que el área efectiva no se vería afectada por la variación de diámetro.

Posterior al relleno con el material de soporte, se dejó que el agua residual corriera a través de las estaciones, a fin de realizar una prueba hidráulica de los sistemas y facilitar la proliferación de microorganismos en el medio, esto durante un periodo de cuatro meses, siguiendo las recomendaciones de la U.S. EPA (2000), ya que así los procesos previos de estabilización del material vegetal y el medio de soporte permitirían obtener una remoción uniforme y constante.

Estabilización y siembra del material vegetal. Se programaron ocho semanas, durante las cuales las plantas fueron sometidas a diferentes porcentajes de dilución (entre agua limpia y agua residual), siguiendo el procedimiento descrito por Bohórquez (2009), partiendo de un 100% de agua limpia en la primera semana, hasta llegar a un 100% de agua residual en la octava semana (Tabla 4).

Tabla 4. Porcentajes de mezcla de AR y agua limpia para la estabilización del material vegetal.

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
%Agua Residual	0	15	30	45	60	75	90	100
%Agua limpia	100	85	70	65	40	15	10	0

Al momento de trasladar las plántulas desde los contenedores donde se estabilizaron a las estaciones se consideraron las recomendaciones de Delgadillo *et al.* (2010) sembrando las raíces por debajo de 5cm de la superficie y revisando que la porción radicular fuera mayor a 10 cm.

Al momento del trasplante del material vegetal se optó por una distribución concentrada de las 5 plantas por cada m² esto según Fernández (2005), debido a que durante la etapa de estabilización las raíces de los grupos de plantas se entrelazaron, y separarlas conllevaría riesgos por el daño a las raíces.

Fase 5: Determinación eficiencia estaciones.

Caracterización (Efluente estaciones). Como recomiendan Britson y Wardrop (2016) se realizó seguimiento a la remoción de carga contaminante, de manera semanal durante los dos meses posteriores al montaje y estabilización del medio y el material vegetal, las variables que se escogieron fueron la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), la Demanda Química de oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendedos Totales (SST), variables determinantes para el cobro por tasa retributiva por vertimiento puntuales (MINAMBIENTE, 2015)

Análisis estadístico. Se optó por aplicar una prueba de normalidad a los datos obtenidos, a fin de determinar si correspondían a una distribución factible, se escogió la prueba de Shapiro Wilk, debido a que según Nornadiah y Yap (2011) trabaja mejor con muestras pequeñas (inferiores a 50); junto con análisis de correlación y varianza, dichas pruebas se realizaron con ayuda de los programas Excel 2016 y SPSS v24.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Fase 1: Aforo y caracterización del vertimiento. Las aguas de salida de la PTAR, alcanzan concentraciones eventuales alejadas de la media (Tabla 5), sin embargo, dicha situación se explica por las temporadas altas de producción, lo cual incrementa la demanda de agua y por ende la carga vertida.

Tabla 5. Histórico de concentraciones de salida PTAR granja Botana, (2016- 2017).

Parámetro	Fecha Muestreo					PROMEDIO
	19-09-17	28-04-17	12-01-17	24-11-16	09-06-16	
SST mg/l	80	36,89	320	92	14	108,58
DBO ₅ mg/l	257,51	203,58	548.4	435	1362	316,14
DQO mg/l	725,7	415	-	-	-	570,35

La biodegradabilidad obtenida para el afluente, fue de 0,55, indicando un flujo altamente biodegradable, lo que concuerda con la investigación de Arias *et al.* (2010), quienes trabajaron con aguas provenientes de criaderos porcícolas, encontrando una biodegradabilidad de 0,53.

Los valores de caudal corroboraron las temporadas algidas referenciadas por Villota (2015) como se observa en la Figura 3.

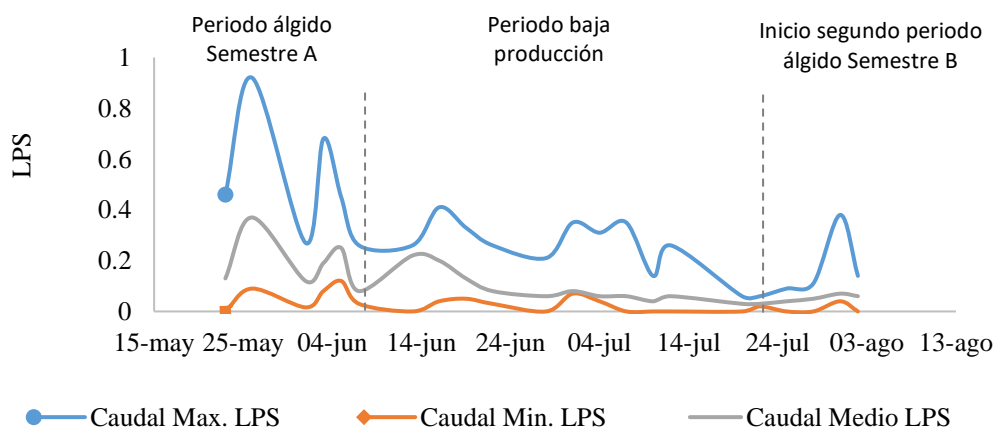


Figura 3. Histórico de caudales salida PTAR mayo – agosto 2017.

Como se observa en la Figura 3, los mayores picos de caudal se registran a finales del mes de mayo, lo que concuerda con la terminación del periodo A del semestre académico, periodo en el cual los porcinos son vendidos, a inicios de agosto el caudal vuelve a aumentar, ya que la producción se reanuda y el número de animales aumenta nuevamente.

El caudal se incrementa después del mediodía (Figura 4) por el tiempo de recorrido de las aguas que pasan a través de los procesos unitarios del sistema de tratamiento, este proceso dura aproximadamente 6 horas (Villota, 2015).

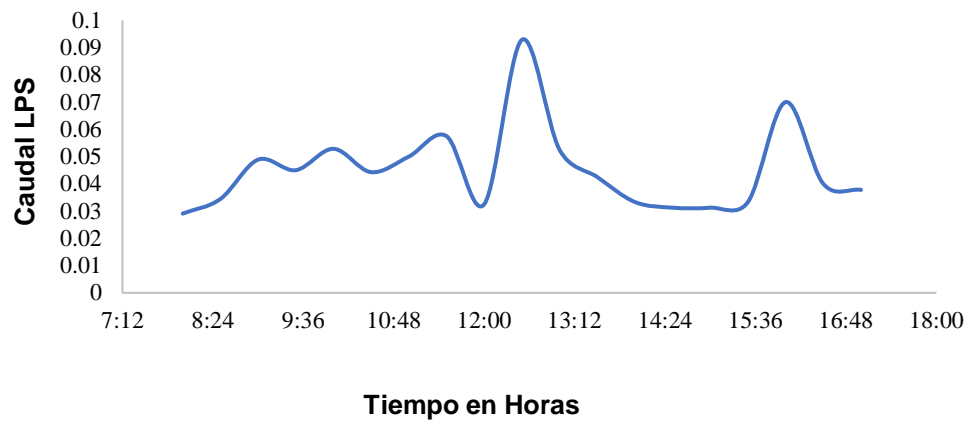


Figura 4. Promedio de caudales hora a hora salida PTAR mayo – agosto 2017.

Fase 2: Dimensionamiento de estaciones. En la Tabla 6, se muestra la estimación del área superficial requerida para los HAFSSh, se obtuvo un área aproximada de 3m^2 para tratar la DBO_5 , la cual fue inferior a la estimada a partir de la DQO (4m^2); sin embargo, este valor no se tuvo en cuenta ya que se requería de realizar una comparación con investigaciones paralelas basadas en la DBO_5 .

Tabla 6. Cálculo del área superficial a partir de la DBO_5 de HAFSSh, según Kadlec, Reed y RAS 2000.

Autor de referencia	Área superficial (m^2)
Kadlec	$A_s = 2,92 \approx 3$
Reed	$A_s = 3$
RAS 2000	$A_s = 2,99 \approx 3$

(Espinoza, 2014)

Una vez obtenida el área superficial se procedió a calcular las dimensiones ancho y largo utilizando las fórmulas propuestas por Yocum (2007); por lo tanto, las dimensiones de cada unidad fueron 3m de largo por 1m de ancho; y para la profundidad según recomiendan Arias *et al.* (2010) en condiciones de temperatura inferiores a $18\text{ }^\circ\text{C}$ se asumieron 0,6 m. (Figura 5)

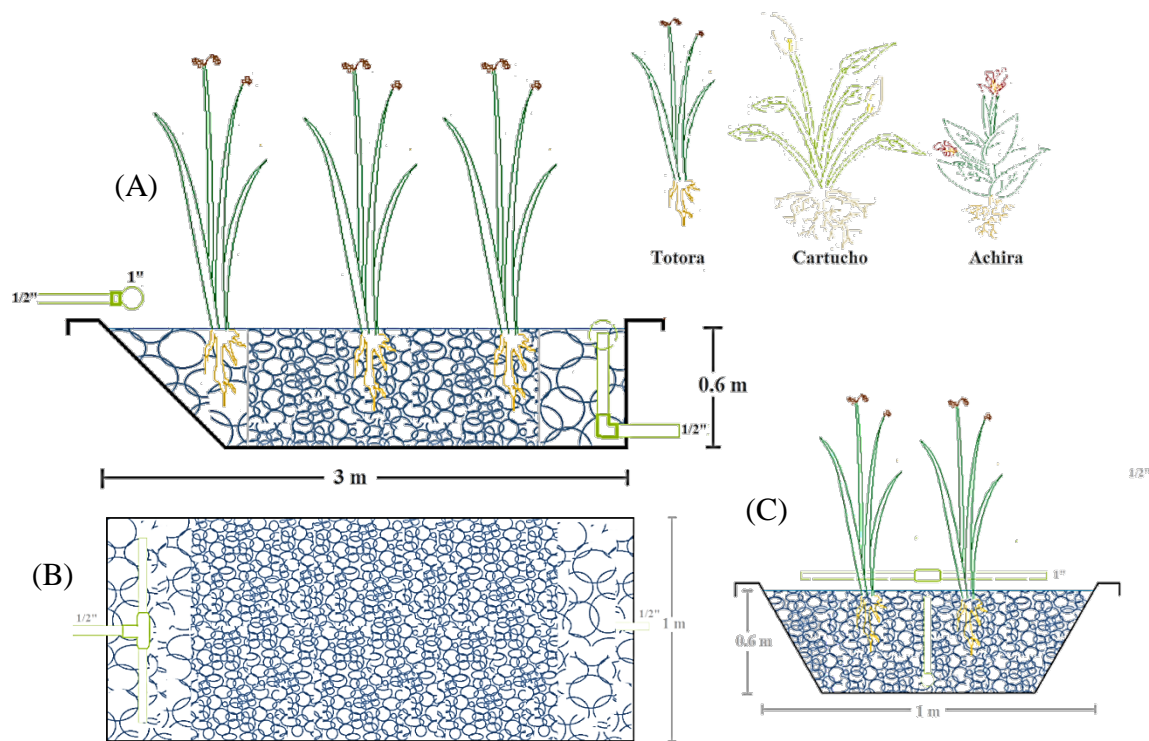


Figura 5. Vistas lateral (A), Superior (B), Frontal (C) de las estaciones HSSFh.

Fase 3 y 4: Diseño y montaje de las estaciones. Según establece Estrada (2010) la etapa de montaje culmina una vez se hace evidente la formación de la biopelícula sobre el medio de fijación, proceso que tomó alrededor de 16 semanas. lo cual concuerda con la investigación de Cárdenas y Gonzáles (2016), cuya estabilización tomó entre 4 a 6 meses.

Fase 5: Determinación de la eficiencia de las estaciones. La remoción media de las estaciones se puede apreciar en la Tabla. No 7, la cual muestra que las remociones más altas fueron en SST, esto podría deberse a que según Rojas *et al.* (2013), las temperaturas bajas no tienen influencia significativa sobre los procesos de filtración y sedimentación lo cual no pasa con las reacciones y los procesos biológicos.

Tabla 7. Media del porcentaje de remoción en las estaciones.

Variable	Promedio % remoción.			
	Testigo	Achira	Cartucho	Totora
SST	71,80	81,25	76,65	83,93
DBO5	69,14	66,54	68,89	81,61
DQO	38,75	35,90	39,97	61,11

Tabla 8. Media de concentración vertida.

Parámetro	Promedio HAFSSh 1 mg/l	Promedio HAFSSh 2 mg/l	Promedio HAFSSh 3 mg/l	Promedio HAFSSh 4 mg/l	PROMEDIO TOTAL mg/l
SST	30,61	20,36	25,36	17,45	23,44
DBO5	85,52	92,72	86,21	50,96	78,85
DQO	444,47	465,18	435,67	282,23	406,89

Como se observa en la siguiente Figura 6. durante las dos primeras semanas los SST en la estación testigo, muestran picos algidos alejados de la media de testigo ($m = 30,61$) en la concentración vertida, mientras que las estaciones plantadas muestran una estabilización más temprana, posiblemente debido a que las plantas favorecen la estabilización de los procesos físicos en los humedales, como la sedimentación y la filtración (Pidre *et al.*, 2007); lo cual podría explicar igualmente que la varianza para los SST fue menor respecto a las demás variables ($s = 28,47$) observado en Tabla 10. Esto significaría que las estaciones que contaban con material vegetal se estabilizaron en menor tiempo que el testigo.

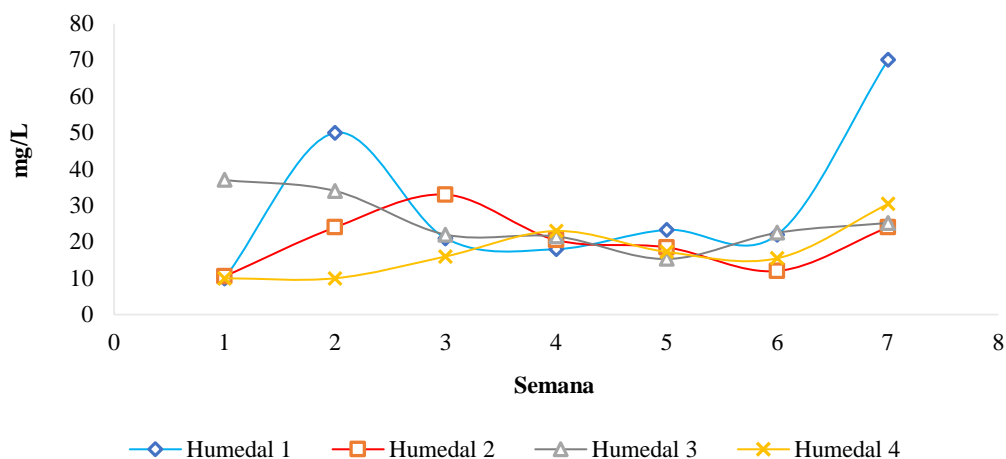


Figura 6. Concentración SST efluente.

Como se observa en las Figuras 7 y Figura 8, Tanto la DBO₅ como la DQO, muestran comportamientos similares durante las siete semanas evaluadas, contrario a los SST, la DBO₅ y la DQO no presentan

diferenciación entre las estaciones plantadas y la de testigo, tampoco muestran una estabilización marcada, a excepción del humedal plantado con Totorá, el cual muestra una varianza menor respecto al promedio (Tabla 10) ($s_{DBO} = 20.58$; $s_{DQO} 40.81$), y muestra hasta 12% más de remoción en SST y DBO_5 , y un 22 % más de remoción en DQO respecto a la estación sin plantar.

Esto podría deberse a que la Totorá trabaja mejor en medios saturados de entre 75 a 100 % de inundabilidad (Kadlec, 2000), y además fue la única que se acondicionó previa poda de su tallo; ya que en el post-arranque, el consumo de material biodegradable es esporádicamente alto, debido a la reposición de tejido que realiza el material vegetal, (Zamora *et al*, 2014). Delgadillo *et al.*, (2010) cita que la totora y las helófitas en general son ancestros directos de los denominados vegetales vasculares, eso hace que posean epidermis muy delgadas a fin de reducir la resistencia al paso de gases, agua y nutrientes, también se caracterizan por disponer de grandes espacios intercelulares que forman una red de conductos huecos en los que se almacena y circula aire oxigenado; permitiendo así la transferencia hacia las raíces, los aerénquimas de los tallos. que son tejidos sin color con grandes espacios intercelulares llenos de aire, que facilitan la flotación y la llegada de aire a los órganos sumergidos; esto explica que la Totorá registre menores concentraciones en los parámetros DBO_5 y DQO.

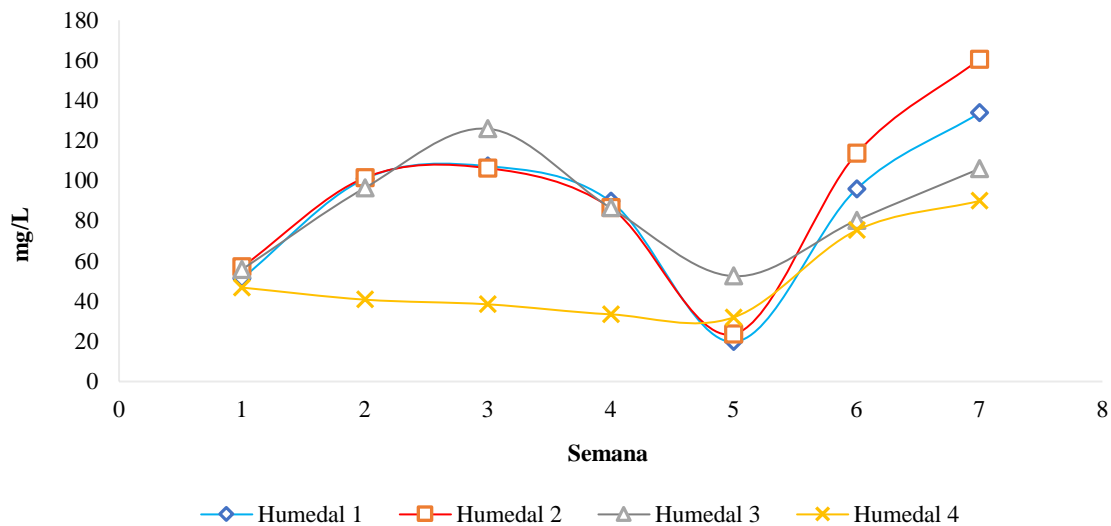


Figura 7. Concentración DBO_5 efluente.

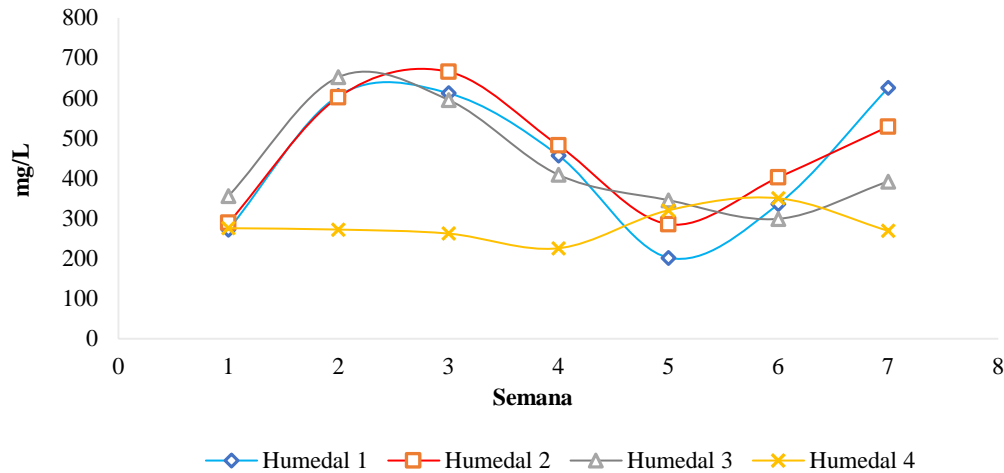


Figura 8. Concentración DQO efluente.

Como se observa en la Figura 9, los muestreos coinciden con los registros más bajos de precipitación entre agosto y septiembre, en la investigación de Piseiro *et al.* (2016) señala los fenómenos relacionados a la dilución por aguas lluvias se presentan cuando estas entran al sistema dentro del tiempo de residencia hidráulico, el cual se determinó aproximadamente en tres días, y por que los registros no muestran precipitaciones significativas en el lapso, no se consideraron estos fenómenos en esta investigación.

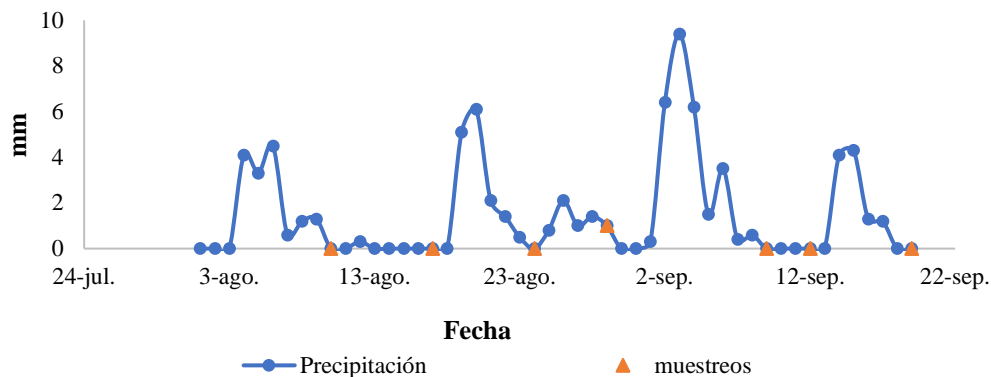


Figura 9. Precipitación agosto - septiembre Granja Botana. IDEAM (2017).

La variación del pH se mantuvo en un rango de 7,4 a 8, como se observa en la Figura 10.; dicho rango corresponde al óptimo señalado por Acosta *et al.* (2016) para el funcionamiento adecuado de estos sistemas; la correlación del pH calculada para los SST fue nula ($\rho = -0,09$), mientras que para la para la DBO₅ y la DQO fue débil ($\rho = -0,3$ y $0,1$ respectivamente), las correlaciones obtenidas se deben a que según afirma (Quintero, 2014) las variaciones bruscas de pH tienen una influencia directamente

proporcional en la remoción, sin embargo las variaciones de pH en este caso no fueron significativas por ende este factor no tuvo influencia en la remoción.

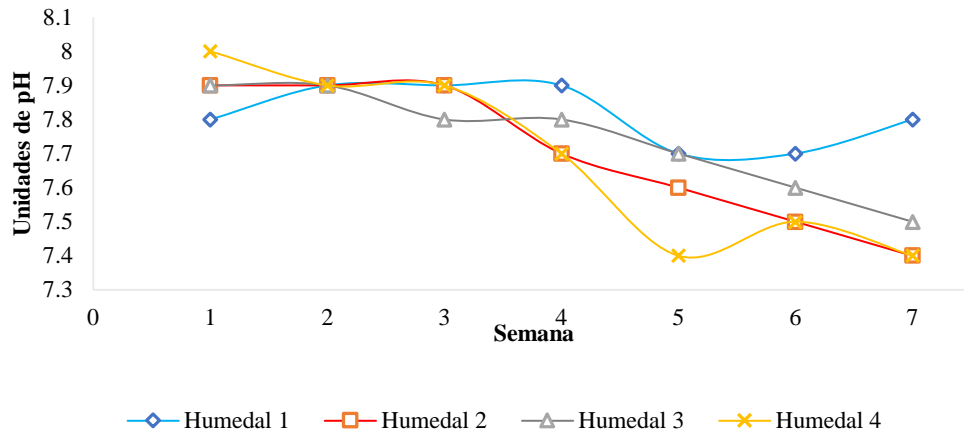


Figura 10. pH en estaciones.

Para la influencia de la temperatura en los procesos de remoción de SST se estimó una correlación débil ($\rho = -0,09$), lo que concuerda con los estudios realizados por Pidre *et al.* (2007) quien afirma que dicha relación es moderada, ya que esta depende más de procesos físicos e hidráulicos como la filtración o la sedimentación. Para procesos biológicos y cinéticos, como los involucrados en la remoción de DBO₅ y DQO la temperatura tiene una influencia significativa y directamente proporcional, Quintero (2014), sin embargo, debido a que la temperatura no presentó variaciones significativas Figura 11, la correlación en este caso para la DBO₅ y la DQO fue moderada y nula respectivamente ($\rho = 0,54$ y $0,06$).

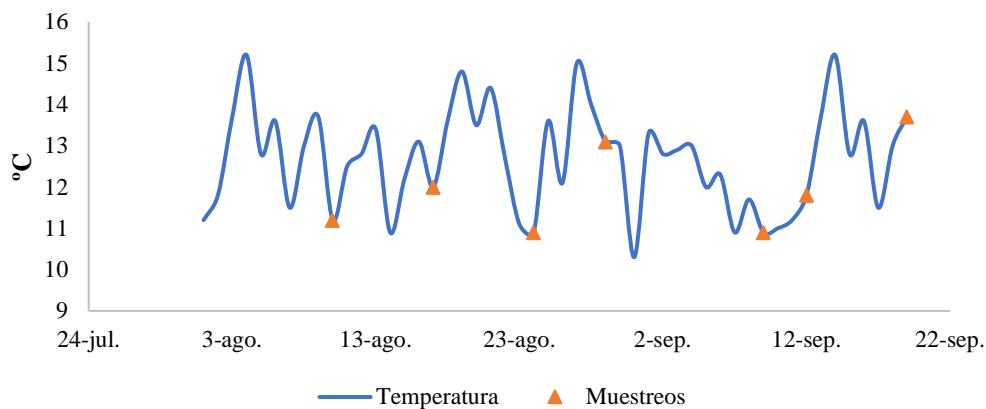


Figura 11. Temperatura en sistema.

La prueba de normalidad mostró que los datos obtenidos correspondían a una distribución normal (Tabla 9), a excepción de la DQO en la estación plantada con Achira, lo cual podría deberse a que los resultados tuvieron una desviación estándar mayor en cuanto a este parámetro ($s = 59,03$; $p = 0,94$). esto como resultado de que el dimensionamiento se realizó con base en la DBO₅, de ahí que el diseño no favorezca la estabilización ni la remoción de la DQO.

Los datos de temperatura y pH medidos en campo, presentaron valores bajos en su desviación estándar, los demás parámetros presentaron valores altos, como puede verse en la Tabla 10., esto se asemeja al estudio de Figueroa (2005) ya que en su caso el sistema completo comenzó a funcionar un mes después del montaje; en Botana los HAFSSh arrancaron en julio, y las primeras muestras se tomaron en el mes de agosto, por lo que el sistema estuvo en fase temprana de estabilización, requiriéndose un mayor intervalo de tiempo para llegar a una fase madura de estabilización, por consiguiente los datos presentaron gran dispersión.

Tabla 9. Prueba de Normalidad Shapiro Wilk (significancia del 5%; n=7).

HAFSSh	Testigo			Achira			Cartucho			Totora		
Variable	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO	SST	DBO	DQO
<i>p</i>	0,07	0,52	0,21	0,75	0,92	0,94	0,41	0,81	0,12	0,36	0,06	0,51
Shapiro-Wilk statistic W	0,82	0,93	0,88	0,95	0,97	0,81	0,91	0,96	0,85	0,91	0,82	0,93

Tabla 10. Dispersión y Desviación Estándar.

Variable	Ph	T°	SST	DBO	DQO
<i>S</i> ²	0,04	42,72	890	10732	10405
<i>s</i>	0,21	5,91	28,47	90,18	59,03

CONCLUSIONES

La estación plantada con Totora (*Schoenoplectus californicus*.) mostró ser la más eficiente en cuanto a remoción de carga contaminante alcanzando valores hasta de 12% más de remoción en SST y DBO₅, y un 22 % más de remoción en DQO respecto al testigo, posiblemente debido a que posee mayor adaptabilidad a medios saturados; y a que su morfología favorece el intercambio gaseoso entre la

atmósfera y las partes sumergidas; las otras especies pese a mostrar valores de remoción altos, no registraron diferencias significativas respecto a la estación sin plantar.

La DQO fue el parámetro con menores porcentajes de remoción de entre 35 al 60%, esto se explica debido a que el dimensionamiento partiendo de la DQO requería 1m² más de área superficial, sin embargo, se tenían limitantes referentes al área disponible destinada para el montaje del proyecto, por lo cual no fue posible tener en cuenta dicha área, lo cual podría haber repercutido directamente en que la remoción de este parámetro fuera inferior a los demás.

Debido a que existe discrepancia entre autores respecto a si los resultados obtenidos con el uso de fitosistemas son mejores que los obtenidos con un sistema igual, pero sin plantas, el dimensionamiento, montaje y operación tienen gran impacto en la capacidad depuradora de determinadas especies, en este estudio las condiciones podrían haber favorecido a la Totorá, puesto que fue la que mostró mayor diferenciación respecto al testigo.

Los valores de remoción obtenidos permiten afirmar que, con la implementación de este tipo de sistemas, se contribuye a lograr los objetivos de calidad propuestos para la Granja Botana dentro de los vertimientos a la fuente superficial, concretamente a la Quebrada Miraflores, y de igual manera a alcanzar los límites planteados en la resolución 631 de 2015 para el sector productivo.

RECOMENDACIONES

Para investigaciones futuras se sugieren como consideraciones de diseño: aumentar el área superficial, de acuerdo a la mayor área estimada ya sea para los SST, DBO₅ o DQO, esto con el fin de ampliar la eficiencia de remoción en todos los parámetros evaluados; y además incluir en lo posible canto rodado como medio de soporte a la entrada y salida del humedal ya que este provee mayor área de soporte para la formación del biofilm.

Se recomienda evaluar otras variables como fósforo y el nitrógeno, a fin de estimar la absorción de nutrientes por parte del material vegetal, para entender mejor la dinámica de asimilación y/o acumulación que se pueda dar en las especies utilizadas en esta investigación, así mismo tener en cuenta aspectos fitosanitarios, que permitan establecer criterios de reúso del material vegetal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOSTA, C.; SOLÍZ, R.; LÓPEZ, G.; BAUTISTA, R.; ROMELLÓN, M. 2016. Tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales tropicales en Tabasco, México. CIBA Revista Iberoamericana de Las Ciencias Biológicas y Agropecuarias. 5(10):25. doi:10.23913/ciba.v5i10.54
- ARIAS S.; BETANCUR F.; GÓMEZ G.; SALAZAR, J.; HERNÁNDEZ, M. 2010. Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. Informador Técnico Colombia. 74(1):12-22 doi:10.23850/22565035.5
- BOHÓRQUEZ B. 2009. Producción de plantas macrófitas: Alternativa para la depuración en humedales artificiales. INGE@ UAN-Tendencias en la Ingeniería. 1(1). 15 -25.
- BRITSON A.; WARDROP, D. 2016. How Many Samples?! Assessing the Mean of Parameters Important for Denitrification in High and Low Disturbance Headwater Wetlands of Central Pennsylvania. P 77- 90 En: Vymazal J. (eds) Natural and Constructed Wetlands. Springer, Cham República Checa, 326p.
- CÁRDENAS, D.; GONZÁLES R. 2016. Uso de humedales artificiales de flujo subsuperficial para postratamiento de aguas residuales de la industria textil. Jóvenes en la Ciencia. 2(1):1427 - 1431.
- CORPONARIÑO. 2012. Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico Quebrada Miraflores. 1-82p. En: <http://corponarino.gov.co/expedientes/descontaminacion/porhriopasto.pdf>. Consulta: septiembre de 2017.
- DELGADILLO, O.; CAMACHO, A.; PÉREZ, L. y ANDRADE, M. 2010. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Primera edición. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA) Cochabamba, Bolivia. 115 p.
- DÍAZ, C. 2014. Tratamiento de agua residual a través de humedales. Memorias V Congreso Internacional De Ingeniería Civil. Universidad Santo Tomas, Tunja Colombia, ISSN 2145-0048 v.5.
- DÍAZ, G.; WILCHES, L.; RAMÍREZ, U. 2000. La achira, tecnología para su producción y beneficio. Primera edición Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) y Programa Nacional de Transferencia Tecnológica Agropecuaria (Pronatta), Colombia, 48 p.
- DUCHIELA, V.; TOLEDO, M. 2014. Determinación de la eficiencia de especies vegetales: Totora- Achira implementadas en biofiltros para aguas de riego en Punín. Trabajo de grado ingenieros en Biotecnología Ambiental. Facultad de Ciencias Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. 95p
- DUQUE, A.; ARDILA, J. 2014. Evaluación de un sistema piloto de humedales Híbridos como post-tratamiento de aguas residuales de una porcícola. Trabajo de Grado de tecnólogos en Química, Facultad de Tecnología. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira 76p IL.T333.918 D946;6310000107963 F2865
- ESLAMIAN, S. 2015. Constructed Wetlands: Case Studies, pp. 723–741. En: Zhang, D., Goyal, M., Singh, V., & Gersberg, R. Urban Water Reuse Handbook, Primera edición. CRC Pres. USA. 1115 p. doi:10.1201/b19646-68
- ESPINOZA, C. 2014. Factibilidad del diseño de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales municipales de 30.000 habitantes. Revista De La Escuela Colombiana De Ingeniería. 94 (1):35 – 44.
- ESTRADA, I. 2010. Monografía sobre humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFSS) para remoción de metales pesados en aguas residuales. Documento de Grado para Tecnólogo Químico, Facultad de Tecnologías, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira. 178 p.
- FERNÁNDEZ, J. 2005, Humedales artificiales para depuración, pp 80-82 En: Manual de fitodepuración de macrofitas en flotación, Sexta edición, Ayuntamiento Lorca, Universidad Politecnica de Madrid, Fundación Global Nature, Obra Social.Mexico, 200 p.

FIGUEROA, J. 2005. Evaluación de *Zantedeschia aethiopica* como planta emergente en pantanos de flujo horizontal de subsuperficie para el tratamiento de aguas residuales. p.9. En: Memorias II Congreso Internacional Sobre Agua en la Frontera México-Guatemala-Belice. Campeche. México.

GONZÁLES O, 2011. Metodología para el diseño de humedales con flujo sub-superficial horizontal. Ingeniería hidráulica y ambiental. 32(1): 61-70.

GUZMÁN, L, 2008, Guía de laboratorio de material, Universidad de Santiago de Chile, Departamento de Ingeniería en obras civiles, Santiago de Chile. Chile. 89p.

HOFFMANN, H.; PLATZER; WINKER, M; MUENCH, E., .2011. Technology Review of Constructed Wetlands Subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment, Primera edición. Agencia de Cooperación Internacional de Alemania, GIZ Programa de Saneamiento Sostenible ECOSAN, Eschborn, Alemania 11p.

IDEAM. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES.; MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL.; SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA-GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL. 2007. Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales Ficha Técnica Código TI0187.Colombia.17p

IDEAM. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. 2017. SOLICITUD DE INFORMACIÓN. En: Solicitud de Información, <http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion>, Consulta: septiembre, 2017.

KADLEC, R; KNIGHT, R; VYMAZAL, J; BRIX, H; COOPER,P; HABERL, R. 2000. Constructed wetlands for pollution control: processes, performance, design and operation, IWA specialist group on use of macrophytes in water pollution control. Primera edición.IWA Publishing, London, UK. 156 p

LANGERGRABER, G. 2005. Constructed Wetlands. Water Encyclopedia. (5):892 - 897. doi :10.1002/047147844x.ww58

LARA, J. 1999. Depuración De Aguas Residuales Urbanas Mediante Humedales Artificiales. Trabajo final Máster en Ingeniería y Gestión Ambiental Tiempo Completo, Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.122 p.

LAZZERESCHI, S.; GRASSOTTI, A.; CACINI, S.; NESI B. 2011. *Zantedeschia Aethiopica*: Effects Of Basal Thermal Treatments On Flowering Time, Yield And Flower Quality. Acta Horticulturae. (893):953-959. doi: 10.17660/actahortic.2011.893.107

LOZANO, A. 2015. Contribuciones para el tratamiento de aguas residuales con sistemas alternativos de bajo coste. Aplicaciones para el desarrollo en poblaciones reducidas y cooperación. Tesis doctoral, Departamento de Ingeniería Civil, Hidráulica y Ordenación del Territorio, Universidad Politécnica de Madrid - University Library, doi:10.20868/upm.thesis.39334

MINAMBIENTE. 2006. Plan nacional de manejo de aguas residuales municipales – PMAR. Editor: Bogotá D. C. , Colombia : El Ministerio. 34p.

MINAMBIENTE. 2009. Parques Nacionales Naturales de Colombia. Santuario de Fauna y Flora Isla de la Corota MinAmbiente.Colombia.Bogotá D.C. Disponible en: <http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/ecoturismo/region-andina/santuario-de-flora-y-fauna-isla-de-la-corota/>; consulta: noviembre, 2016.

MINAMBIENTE 2010, DECRETO 3930. Diario Oficial No. 47837. Bogotá D.C. Colombia, 25 de octubre de 2010. En; <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=40620>, Consulta: enero 2017.

MINAMBIENTE 2015, DECRETO 1076. Decreto único del Sector Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, Diario Oficial No. 49.523. Bogotá D.C. Colombia, 26 de mayo de 2015. En: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=62511>. Consulta: enero 2017

NORNADIAH M.; YAP, B. 2011. Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*. 2(1):21-33.

PÉREZ, R. 2006. Granjas porcinas y medio ambiente, contaminación del agua en la piedad, Michoacán, Primera edición. Plaza y Valdés, S.A. Universidad Autónoma de México, México, 201p.

PIDRE, J.; SLAS, J.; SANCHEZ, L. 2007. Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales. Primera edición. Editorial Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA). España. 753p.

PINEDA M. 2013. Estudio de la macrofauna en diferentes usos de suelo con laurel de cera *Morella Pubescens* en la granja experimental Botana. Trabajo de Grado Ingeniera Agrónoma. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño, Pasto. 33p

PISOEIRO, J.; GALVÃO, A.; FERREIRA, F.; MATOS, J. 2016. Potential for CSO treatment with horizontal flow constructed wetlands: influence of hydraulic load, plant presence and loading frequency. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(20): 20591–20599. doi:10.1007/s11356-016-7212-1

POTOSÍ, D.; YEPEZ, J. 2015. Identificación de la flora apícola representativa y caracterización de algunas variables etológicas durante el pecoreo de la abeja *Apis mellifera* En la Granja Experimental BOTANA- Universidad de Nariño. Trabajo de grado Zootecnista. Facultad de Ciencias Pecuarias, 130p.

QUINTERO J. 2014. Evaluación de humedales artificiales pilotos de flujo horizontal y tipo superficial y subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales. *Ingenium Revista de La Facultad de Ingeniería*, 15(29): 85-112. doi:10.21500/01247492.1347

RAS. REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO. 2000. Tratamiento de Aguas Residuales. Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Bogotá D.C. Colombia. 144p.

RAS. REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO. 2017. Tratamiento de Aguas Residuales. Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Bogotá D.C. Colombia. 182 p.

MINAMBIENTE. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 631 De 2015. Bogotá D.C. Colombia. EN: http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf; consulta: enero, 2017.

ROJAS, K.; VERA, I.; VIDAL, G. 2013. Influencia de la estación y de las especies *Phragmites australis* y *Schoenoplectus californicus* en la eliminación de materia orgánica y nutrientes contenidos en aguas servidas durante la operación de puesta en marcha de humedales construidos de flujo horizontal subsuperficial. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (69): 285-299.

SCHOLZ, M. 2016. Constructed Wetlands, pp.137–155. En: Scholz, M. . *Wetlands for Water Pollution Control*. Segunda edición. Elsevier. Amsterdam, UK. 524 p doi:10.1016/b978-0-444-63607-2.00020-4.

SECRETARÍA DE LA CONVENCION DE RAMSAR. 2013. Manual de la Convención de Ramsar. Sexta edición. Secretaría de la Convención de Ramsar. Suiza. 116p.

STEFANAKIS, A.; AKRATOS, C.; TSIHRINTZIS, V. 2014. Constructed Wetlands Classification. Vertical Flow Constructed Wetlands, pp. 17–25. En: Centro Helmholtz para la Investigación Ambiental – UFZ, . Primera edición. Elsevier Inc. Reino Unido. 369p. doi:10.1016/b978-0-12-404612-2.00002-7.

TOALONGO, R.; RAFAEL. E. 2012. Diseño de un sistema de recolección, depuración y aprovechamiento de aguas residuales para fincas agroecológicas familiares en la parroquia El Valle- Cantón Cuenca.. Trabajo de grado Ingenieros Agrónomos, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Cuenca Ecuador. 65p.

U.S. EPA .2000. Design Manual Constructed Wetlands for Municipal Wastewater Treatment, Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, Cincinnati, Ohio. 166 p.

VILLOTA, E. 2015. Sistema de iluminación y calefacción a partir de biogás sector porcinos, Granja Botana Universidad de Nariño, Trabajo de grado Ingeniero Electrónico, Facultad de ingeniería, Universidad de Nariño, Pasto. 143p.

VINUEZA, J. 2014. Diseño de un sistema de pantanos artificiales para el tratamiento de aguas negras y grises del campo base y área de mantenimiento El Coca de la empresa Triboilgas., Trabajo de Grado de Ingeniero Ambiental, Facultad de Ingeniería en Geología, Minas Petróleos y Ambiental. Universidad central del Ecuador Quito, Ecuador. 99p.

WONG, C. 2004. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Principles and Practices, pp. 285-310 En: Polprasert S. Wetlands Ecosystems in Asia. Primera edición. Elsevier, Amsterdam, UK, 451.p doi: 10.1016/B978-044451691-6/50019-3.

YOCUM D. 2007. Manual de Diseño Humedal Construido para el Tratamiento de las Aguas Grises por Biofiltración. Bren School of Environmental. Primera edición. Science and Management, University of California, Santa Barbara. USA 16p.

ZAMORA, H.; GUERRERO, P.; BENAVIDES, K. (2014). BIODEGRADABILIDAD DE FLUJOS DE ALIMENTACIÓN En humedales artificiales piloto para el tratamiento de lixiviados del relleno sanitario “ANTANAS”. Revista UNIMAR. 27(4):90 - 95.